



Ingenierías &amp; Amazonia 4(1), 2011

UNIVERSIDAD DE LA  
AMAZONIA

## ESTIMACIÓN DE CARBONO EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE *Hevea brasiliensis* EN LA AMAZONIA COLOMBIANA

Ervin Humprey Durán Bautista, Liliana Duque Castro &amp; Juan Carlos Suárez Salazar

Artículo recibido el 26 de Febrero de 2011, aprobado para publicación el 10 de Junio de 2011.

### Resumen

La investigación se desarrolló en el Nor-Oriente de la Amazonia colombiana, departamento del Caquetá. Se estimó la cantidad de carbono almacenado por la biomasa aérea de la especie *Hevea brasiliensis* (Caucho) durante los primeros siete años, sembrada en sistema agroforestal. Se realizó un muestreo de 12 individuos distribuidos en cuatro clases diamétricas en un rango de edad entre uno y siete años. A todos los individuos se les determinó la fracción de carbono y la biomasa seca, igualmente se analizó la correlación de las variables dasométricas para la generación y selección del modelo alométrico que mejor estima los datos de biomasa y con este, estimar el almacenamiento de carbono. De los modelos alométricos generados para estimar la biomasa aérea sólo los relacionados con dap y diámetro de copa mostraron cumplir con los parámetros estadísticos, siendo el modelo  $BA = -0,59 + 0,34(dap)^2$ , basado en la variable dap, el que mejor estima los datos de biomasa aérea. Esta información permitió estimar para la zona de estudio un almacenamiento de carbono de 25507 ton, el promedio por hectárea fue de 6,93 ton C ha<sup>-1</sup>.

**Palabras claves:** Caucho, captura, ecuación, modelo, alométrico.

## CARBON ESTIMATION IN AGROFORESTRY SYSTEMS WITH *Hevea brasiliensis* IN THE COLOMBIA AMAZONIA

### Abstract

The research was carried out in the north-eastern Colombian Amazon, Caquetá department. The amount of carbon stored in biomass of the species *Hevea brasiliensis* (Rubber) in an agroforestry system was estimated during the first seven years. Twelve individuals of four diameter classes were sampled by age range from one to seven years. The fraction of carbon and dry biomass was determined, and the correlation of the dasometric variables were analyzed for the generation and selection of the model that best estimated allometric biomass data and with this, estimate carbon storage. Of the generated allometric models for estimating biomass, only those related with diameter at chest height (DCH) and crown diameter comply with the statistical parameters, being model  $BA = -0.59 + 0.34 (DCH)^2$ , based on DCH<sup>2</sup>, which best estimate biomass data. This information allowed us to estimate carbon storage of 25,507 ton for the study area, the average hectare was 6.93 ton C ha<sup>-1</sup>.

**Keywords:** Rubber, storage, equation, model, allometric.

## Introducción

El cambio climático tiene efectos sobre las dinámicas ambientales y sociales en el planeta. Esta situación es causada por procesos como la deforestación, uso de combustibles fósiles, inadecuadas prácticas agrícolas y la ganadería extensiva, entre otros, que generan emisiones de gases efecto invernadero, principalmente el dióxido de carbono (Acosta *et al.*, 2001). Una de las estrategias para la mitigación de este fenómeno es reducir la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, donde se puede utilizar la biomasa de los árboles para captura y retención de carbono. Los sistemas agroforestales (SAF) y las plantaciones, representan sumideros importantes de carbono, ya que las especies arbóreas pueden retenerlo en los tejidos por un tiempo prolongado, lo cual depende entre otras cosas, del turno de corte que puede ser aproximadamente de 25 años (Avila *et al.*, 2001). Para ello, es fundamental establecer la biomasa y cuantificar las cantidades de carbono que se capturan de la atmósfera y que son retenidas por dichas especies (Andrade e Ibrahim, 2003).

Se han identificado que las plantaciones de caucho (*Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.D. de Juss.) Muell.-Arg.) desempeñan un papel importante en la acumulación de carbono en la biomasa (Rodrigo *et al.*, 2001; Tsuruta *et al.*, 2000); además de ser un renglón importante de producción en el departamento del Caquetá, las cuales son el sustento de aproximadamente 1640 familias asociadas algunas de ellas a ASOHECA. Para el cálculo de la biomasa, según Segura y Andrade (2008) los modelos alométricos son una forma que permite estimar VBC (volumen, biomasa y carbono) las cuales expresan la biomasa del árbol como una función de parámetros fácilmente medibles, tales como el diámetro del tallo a la altura de pecho (dap), altura total (h) o el área basal del tallo (AB;  $\pi \text{dap}^2/4$ ). El objetivo de este estudio fue determinar la capacidad de acumulación de carbono en plantaciones de caucho de hasta siete años de edad, ya que fue la edad en la que se logró muestrear debido a que a más de 7 años los productores no donaron los árboles por que estaban en etapa productiva. La importancia de

esta información en el ámbito regional es ser un insumo ante la posibilidad de implementar incentivos económicos como pago por servicio ambiental (PSA) para captura de carbono, dado que se trata de una especie con alto valor económico y con estructura aérea potencial para la captura de CO<sub>2</sub> atmosférico.

## Materiales y métodos

### Localización

El área de estudio se localizó en la región Nor-Oriental de la Amazonia Colombiana en el departamento de Caquetá en los municipios de El Doncello y Albania. El municipio de Albania se encuentra localizado en las coordenadas geográficas 01° 19' 00" latitud N y 75°52' 00" longitud W, a una altura de 407 msnm; y presenta una temperatura anual promedio de 28°C. En el municipio de El Doncello el estudio se desarrolló en la inspección de Maguaré que se encuentra localizada en las coordenadas geográficas 01° 37' 00" latitud N y 75°08' 00" longitud W, a una altura de 270 msnm; y se caracteriza por presentar una temperatura promedio de 24,9°C, humedad relativa del 84%, precipitación total anual de 2718 mm y radiación solar de 1537 horas año<sup>-1</sup> (Gobernación del Caquetá, 2010).

El estudio se desarrolló en seis fincas cultivadoras de caucho natural, en las que los árboles estaban plantados en sistema agroforestal asociado con cultivos de *Eugenia stipitata* McVaugh (Arazá), *Saccharum officinarum* L. (Caña), *Ananas comosus* (L.) Merr (Piña), y *Musa paradisiaca* L. (Plátano) en surcos dobles con una distancia de siembra de 3x3 m y 12 m entre cada surco doble, espacio en donde se sembró el cultivo asociado.

### Procedimientos para el desarrollo de una ecuación alométrica

Para la generación del modelo alométrico de la especie *H. brasiliensis*, se adaptó la metodología propuesta por Segura y Andrade (2008). Se utilizaron 12 individuos en la fase inicial de crecimiento de entre 1 a 7 años de plantados, seleccionados en áreas con

condiciones similares de topografía, edáficas, climáticas y de manejo. Los individuos estuvieron distribuidos por clases que se definieron y se usó rangos de 3,9 cm de la siguiente forma:

Clase diamétrica	Rango (cm)
I	1 - 4,9
II	5 - 8,9
III	9 - 12,9
IV	13 - 16,9

### Selección de individuos

Los individuos seleccionados para cortar, medir y pesar fueron individuos típicos (es decir que tenían la forma, sanidad del fuste y volumen de copa de la población) de la especie *H. brasiliensis*, en un rango de edad de uno a siete años (Segura y Andrade, 2008).

### Medición de variables

Una vez seleccionados los árboles a cortar, se midió con la mayor precisión posible el diámetro a la altura del pecho (1,3 m), altura total (*ht*), altura comercial (*hc*) y diámetro de copa (*dc*) de cada árbol.

El diámetro a la altura del pecho (*dap*) se transformó a partir de los valores de circunferencia a diámetro a partir de la división entre la constante  $\pi = 3,1416$ . Las alturas se midieron de manera directa sobre el suelo con cinta métrica, una vez los árboles fueron talados. El diámetro de copa se midió con cinta métrica y se promedió dos mediciones perpendiculares de la proyección vertical de las copas sobre el suelo.

### Tala de los individuos y separación de partes

La tala se realizó a cada uno de los individuos evaluados para la determinación de la biomasa seca. Después de medir las características dimensionales (*dap* y diámetro de copa) del individuo en pie, se cortó al ras del suelo y luego sobre este se midió la altura total y comercial. Se dividió en las partes, tronco, ramas y hojas (Rügnitz *et al.*, 2009) y se pesó de manera inmediata para evitar la

descomposición, ya que el proceso de senescencia es acelerado y afecta el cálculo de la biomasa y por consiguiente del carbono (Segura y Andrade, 2008).

### Peso y medición de los componentes y toma de muestras para análisis en laboratorio

La biomasa por componentes se pesó en fresco (peso húmedo) con balanza de 0,5 kg de precisión marca *Detecto scales*. Se tomó una muestra de aproximadamente 200 g para secar en horno y estimar el contenido de materia seca. La biomasa se expresó en peso seco (Segura y Andrade, 2008).

### Fase de laboratorio

Las muestras tomadas en campo fueron llevadas al Laboratorio de Geociencias de la Universidad de la Amazonia, ubicado en el Centro de Investigaciones Macagual (CIMAZ), para el secado en horno a una temperatura 100°C por 48 horas hasta que alcanzaron un peso constante (Suárez *et al.*, 2004).

Una vez las muestras secas fueron pesadas, se tomaron aproximadamente 20 g de cada una para la determinación de la fracción de carbono, análisis que realizó el Laboratorio de Servicios Analíticos del Centro Internacional de Agricultura (CIAT) mediante el método de Walkey-Black.

### Determinación de biomasa

La biomasa total se calculó en base seca y se sumó cada uno de los componentes del árbol (fuste, ramas y hojas) y se determinó mediante la relación peso fresco y materia seca de las muestras de cada uno de estos componentes, como se muestra en la ecuación 1 (Rügnitz *et al.*, 2009).

$$B = \frac{PF \times MS}{100}$$

Ecuación 1: Fórmula para calcular biomasa por relación de peso.

Donde:

B : Biomasa (kg)  
 PF : Peso fresco (kg)  
 MS : Materia seca (%)

## Organización de los datos y correlación entre variables

Se organizó la información en un cuadro, donde las filas presentaban la información por individuo, sobre las mediciones de todas las variables independientes (dap, ht, hc,) y la dependiente (biomasa por componente). Luego se graficó la biomasa contra cada variable independiente para ver las tendencias de los datos y se definió los modelos de regresión a utilizar, ya sean modelos lineales o no (Segura y Andrade, 2008).

## Generación de las ecuaciones de biomasa

### Paso 1. Definición de variables independientes

El primer procedimiento para generar la ecuación consistió en calcular los promedios, desviación estándar y valores máximos y mínimos de los datos colectados. Se analizó la correlación de Pearson ( $r$ ) entre las variables dimensionales (independientes, ejemplo: dap, altura total, etc.) en las variables de biomasa de cada componente de la especie evaluada (Rügnitz *et al.*, 2009).

Se elaboró diagramas de dispersión de todas las variables para observar las tendencias y posibles relaciones entre variables (dap, altura, biomasa) (Rügnitz *et al.*, 2009).

### Paso 2. Selección de ecuaciones de regresión

Se probaron modelos de regresión ya existentes en la literatura para estimar la cantidad de biomasa aérea total a partir del diámetro (dap), altura total, altura comercial, o una combinación de variables.

### Paso 3. Selección de modelos alométricos de biomasa

Para la selección del modelo se utilizaron los siguientes parámetros:

- Lógica biológica del modelo: se comparó los valores estimados por cada modelo con los valores que el investigador esperaría para la especie (Segura y Andrade, 2008).
- Practicidad en el uso: Se recomiendan los modelos que incluyen un máximo de dos variables independientes de fácil y precisa medición, tales como el dap y la altura total (Segura y Andrade, 2008).
- El Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) expresa la cantidad de variación de la variable dependiente que es explicada por las variables independientes. Cuanto más próximo de uno (1) es el valor  $R^2$ , mejor fue realizado el ajuste (Machado *et al.*, 2002).
- El coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$ -ajust) es una variante del  $R^2$  que no necesariamente aumenta al incluir una variable independiente adicional en el modelo, debido a que penaliza la inclusión de nuevas variables independientes. Si la variable independiente ingresada es significativa, el  $R^2$ -ajust será cercano al  $R^2$ ; en caso contrario, el  $R^2$ -ajust disminuirá respecto al  $R^2$ . Cuanto más cercanos a 1 sean  $R^2$  o  $R^2$ -ajust, el ajuste del modelo será mayor (Segura y Andrade, 2008).
- El coeficiente de variación (CV%) es una medida relativa que permite comparar la dispersión entre dos poblaciones, o la variación resultante de dos variables distintas (originadas de una misma población), que tengan diferentes unidades de medidas. Cuanto menor es el valor de CV%, mejor es el modelo (Rügnitz *et al.*, 2009).
- El Error Cuadrático Medio de Predicción (ECMP) de los modelos seleccionados por la capacidad de ajuste, son aquellos que expresan el menor valor en este criterio (Ferriolset *et al.*, 1995).
- El Criterio de Información Bayesiano (BIC) y el Criterio de Información Akaike (AIC): son criterios que se utilizan en la selección

de modelos para elegir el mejor entre un conjunto de modelos admisibles. Un modelo es mejor que otro si tiene un valor AIC o BIC menor (Carlin y Louis, 1996).

#### Paso 4. Análisis de la información

Los resultados obtenidos en este trabajo se analizaron mediante estadística descriptiva (promedios, desviación estándar y valores máximos y mínimos). Las diferencias del almacenamiento de carbono total y por componente se analizaron mediante una prueba de diferencias LSD Fisher en el software estadístico Infostat versión 2010 (Di Rienzo *et al.*, 2010).

#### Paso 5. Estimación del carbono almacenado en biomasa aérea.

Una vez seleccionados los modelos alométricos que mejor estiman los datos de campo, se cuantificó el carbono presente en la biomasa aérea para las plantaciones de la Asociación de Reforestadores y Cultivadores de caucho del Caquetá que no superen los siete años de plantados, de acuerdo con lo documentado por esta asociación acerca del crecimiento anual promedio por árbol y lo planteado por Rügnitz *et al.* (2009).

#### Resultados y discusión

En el cuadro 1 se presenta los valores mínimos y máximos de las variables utilizadas para determinar el contenido de carbono en la biomasa, la biomasa en los componentes del árbol, y modelos alométricos de biomasa aérea de *H. brasiliensis*.

#### Biomasa aérea de la especie *Hevea brasiliensis*

El promedio de la biomasa aérea de la especie

**Cuadro 2.** Participación de los componentes del árbol en la biomasa aérea para *Hevea brasiliensis*.

Biomasa (kg)	n	$\bar{x}$	%	E.E.	Min.	Máx.
Fuste	12	10,23	41,5	2,60	0,12	25,95
Ramas	12	14,42	58,5	4,32	0,00	43,07
Aérea total	12	24,65	100,0	6,81	0,12	68,42

n: Numero de individuos;  $\bar{x}$ : Media; %: Porcentaje; E.E: Error estándar; Min: valor mínimo; Max: valor máximo.

estudiada fue 24,65 kg árbol<sup>-1</sup> (árboles con dap entre 1,9 y 14,64cm). Las ramas tienen la mayor participación en la biomasa aérea con un 58,5% (Cuadro 2).

Resultados contrarios a los reportados por Monroy y Navar (2004) quienes encontraron que el fuste representa el 72,8% de la biomasa aérea de *H. brasiliensis* en Veracruz, México. Por tanto, a través de análisis de varianza y comparación de medias mediante la prueba LSD Fisher para los componentes se determinó que no existen diferencias significativas; aún cuando las ramas presentan un 17% más de biomasa en comparación con el fuste.

Sin embargo, es de notar, que el porcentaje de biomasa acumulado en el fuste y otros componentes del árbol depende básicamente de las características de cada especie, la edad y el manejo que se le da a la plantación. Actividades tales como las podas y los raleos, afectan la distribución de la biomasa por componentes (Álvarez, 2008). Las hojas no fueron tenidas en cuenta, debido a que la mitad de los individuos presentaban comportamiento caducifolio, es decir estaban defoliados, comportamiento que es habitual de la especie como lo documenta Torres (1999).

**Cuadro 1.** Ámbito de validez de los datos para *Hevea brasiliensis*.

No. de árboles	Edad (años)	DAP (cm)	Altura total (m)	Altura comercial (m)	Dcopa* (m)	Biomasa (kg árbol <sup>-1</sup> )
12	0,5-7,0	1,9-14,6	1,9-10,5	0,9-4,4	0,7-5,7	0,1-68,4

\*Diámetro de copa



**Cuadro 3.** Comparación de medias mediante la prueba LSD Fisher entre los componentes del árbol.

Componente	Medias	N	E.E.
Fuste	10,23 a	12	2,27
Ramas	14,42 a	12	2,27

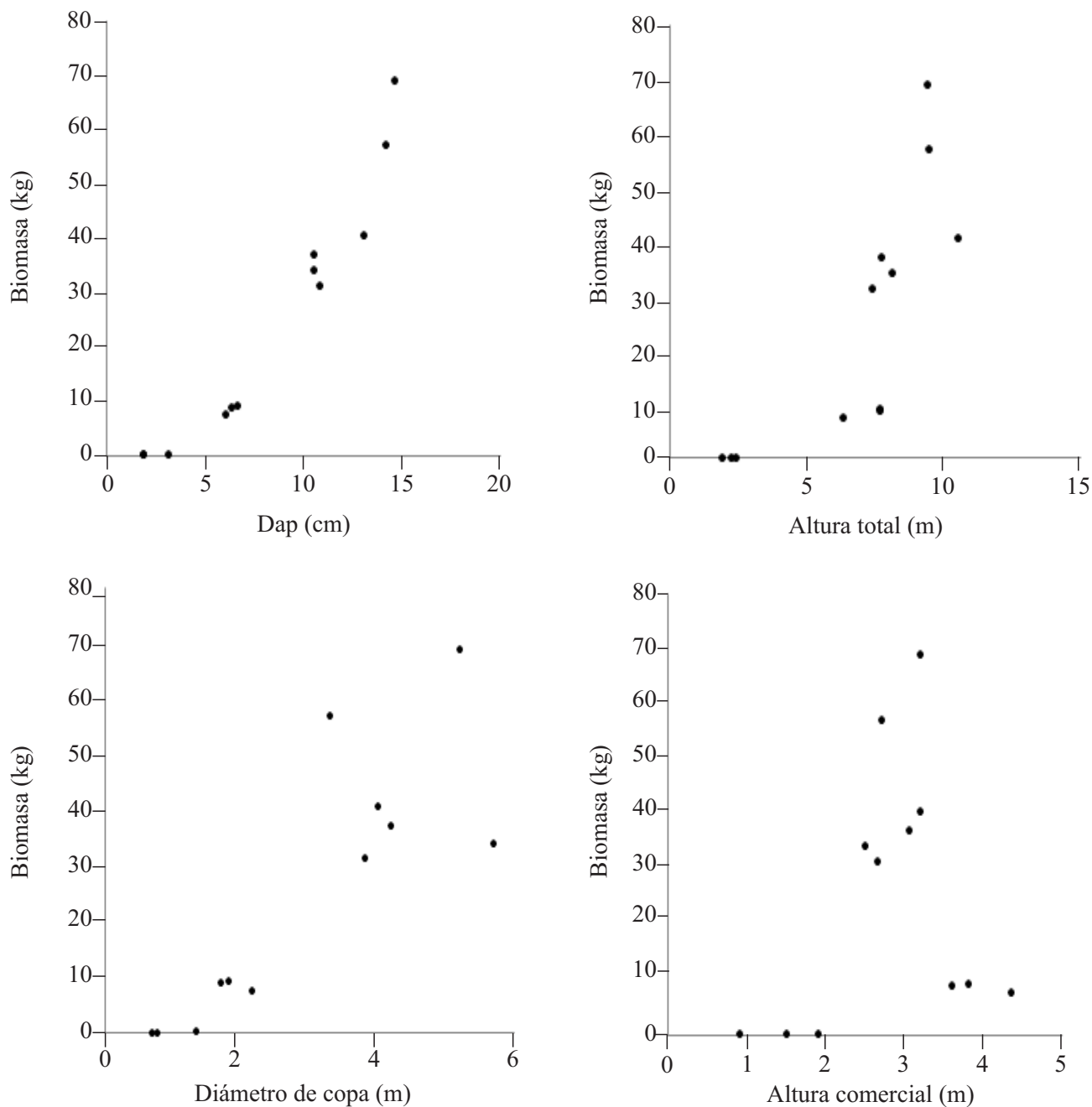
<sup>a,b,c</sup> Letras distintas indican diferencias significativas ( $P < 0,05$ ).

### Correlación de variables

Para la generación de los modelos alométricos

se realizó un análisis exploratorio de los datos tomados en campo, en el cual se graficó la biomasa (variable dependiente) contra cada variable independiente (dap, altura total, altura comercial y diámetro de copa) para ver las tendencias de los datos (Figura 1).

Se evidenció que el dap es la variable que mejor explica el comportamiento de la biomasa. Como lo indican algunos estudios donde utilizaron la variable dap para explicar el



**Figura 1.** Relación alométrica de biomasa en relación a las variables independientes para *Hevea brasiliensis*.

**Cuadro 4.** Grado de correlación de la variable con la biomasa aérea.

Variable	Coefficiente de correlación de Pearson	Grado de correlación
Dap	0,96	Alto*
Dcopa	0,83	Alto
ht	0,79	Medio**
hc	0,24	Bajo***

Dap: Diámetro a la altura del pecho; ht: Altura total; hc: Altura comercial; Dcopa: Diámetro de copa.

\* Alta cuando el grado de correlación es mayor a 0,80.

\*\* Media cuando es menor a 0,80 y mayor a 0,40.

\*\*\* Baja cuando el grado de correlación es menor a 0,40.

comportamiento del crecimiento de especies tropicales como los realizados por Nelson *et al.* (1999) y Araujo *et al.* (1999). Mencionados estudios utilizaron variables como el dap, altura total, pero también dentro de los modelos presentados utilizan la variable dap como única variable regresora para estimar biomasa total. Arreaga (2002), estimó el carbono almacenado en bosques con manejo forestal en El Petén, Guatemala, mediante modelos lineales en función de variables regresoras como el dap, la altura total y altura comercial. Por otra parte se observa que las variables de la altura total y comercial son las más dispersas, por lo que no existe una clara relación con el comportamiento de la biomasa.

De igual forma se analizó mediante el coeficiente de correlación de Pearson, las tendencias evidenciadas en la figura 1, de lo cual se concluyó que el dap, es la variable independiente que mejor explica el

comportamiento de la biomasa, debido a que presentan un coeficiente de correlación alto, seguida por el diámetro de copa. Por otra parte la altura comercial y la altura total son las variables de menor ajuste (Cuadro 4). Por lo que se esperaría que los mejores modelos sean los de las variables dap y diámetro de copa o una combinación de estas dos variables.

### Modelos alométricos para estimar biomasa aérea en la especie *Hevea brasiliensis*

Los modelos que mejor estiman la biomasa aérea, son aquellos a partir del dap o una combinación con el diámetro de copa con un  $R^2$  y  $R^2$  ajustado altos (Cuadro 5). Estos modelos explican más del 95% de la variabilidad de los datos. El modelo que mejor estima la biomasa total es un modelo lineal a partir del dap al cuadrado.

El modelo  $B = -0,59 + 0,34(\text{dap})^2$ , es el que mejor estima la biomasa aérea ya que cumple con todos los parámetros estadísticos y lógicos del comportamiento de *H. brasiliensis*. El modelo  $B = 0,53 + 2,23(\text{Dc}) + 0,37(\text{dap})^2$ , aunque cumple con los parámetros estadísticos no se recomienda por sobre estimar la biomasa y por que el diámetro de copa es una variable que está sujeta a un alto error debido a que no es medición directa. En función de los valores estadísticos de ajuste presentados y teniendo en cuenta los costos de la evaluación de variables para la estimación de la biomasa total, es recomendable utilizar el modelo que incluye las variables dap, dado que los demás modelos explican también el 98% de la variabilidad de los datos pero son más costosos de evaluar.

**Cuadro 5.** Modelos seleccionados para estimar biomasa aérea de la especie *Hevea brasiliensis*.

Modelo	$R^2$	$R^2$ ajust.	ECMP	AIC	BIC
$B = -0,59 + 0,34(\text{dap})^2$	0,98	0,97	27,66	71,48	73,42
$B = 0,53 + 2,23(\text{Dc}) + 0,37(\text{dap})^2$	0,98	0,98	24,65	69,90	72,33
$B = -16,34 + 4,93(\text{dap})$	0,92	0,91	75,61	84,17	85,62

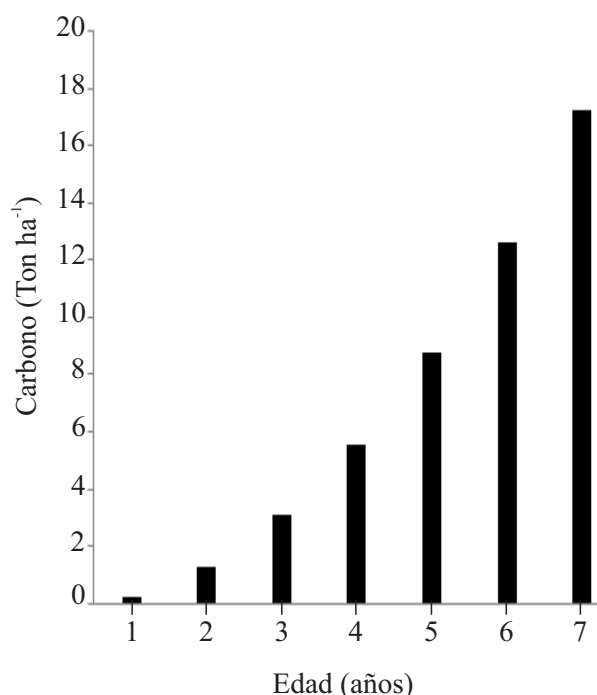
B: Biomasa aérea en Kg; Dap: Diámetro a la altura del pecho en cm; Dc: Diámetro de copa en m;  $R^2$ : Coeficiente de determinación;  $R^2$  ajust.: Coeficiente de determinación ajustado; ECMP: Error Cuadrático Medio de Predicción; AIC: Criterio de Información Akaike; BIC: Criterio de Información Bayesiano.

## Contenido de carbono en la biomasa aérea de la especie *Hevea brasiliensis*

El porcentaje de contenido de carbono en la biomasa aérea de la especie estudiada fue 47,23. Este resultado está dentro el rango (43 a 58%) mencionado por IPCC (1996). Por otro lado estos resultados fueron más bajos a los reportados por Brown (1997) y McDicken (1997).

## Tasas de almacenamiento de carbono

En la figura 2 se muestra las tasas de almacenamiento de carbono por hectárea anualmente obtenidas a partir del modelo alométrico generado. Los resultados encontrados en esta investigación con respecto a la capacidad de almacenamiento de carbono por la especie *H. brasiliensis* en sistema agroforestal en promedio fue de 6,9 ton C ha<sup>-1</sup> el cual se encuentra dentro del rango encontrado en otras investigaciones que documentan que la cantidad de carbono almacenado por los árboles dentro de los SAF's oscila normalmente entre 3 y 25 ton C ha<sup>-1</sup> (Ávila, 2000).



**Figura 2.** Tasa de almacenamiento de carbono en las plantaciones de caucho menores e iguales a 7 años.

## Estimación de biomasa y carbono almacenado por las plantaciones de ASOHECA

Para esta estimación se empleó la información suministrada por la Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá (ASOHECA, 2009). Para las 3179 ha plantadas que cumplen con el rango de edad menores e igual a siete años, se estimó una biomasa aérea total de 28521 ton, lo que representa un almacenamiento de carbono de 13470 ton. El promedio por hectárea de biomasa y carbono almacenado para el área en estudio fue de 8,97 ton ha<sup>-1</sup> y 4,23 ton ha<sup>-1</sup>, respectivamente.

Los modelos alométricos relacionados con dap y diámetro de copa, mostraron cumplir con los parámetros estadísticos siendo  $BA = -0,59 + 0,34(dap)^2$  el más adecuado matemáticamente, basado en la variable dap al cuadrado, el que mejor estima los datos de biomasa aérea. Igualmente se concluye que las plantaciones de *Hevea brasiliensis* en la región Nor – oriental de la Amazonia tienen una gran capacidad de capturar y almacenar carbono, lo que genera la posibilidad de acceder a mecanismos de compensación como el pago por servicios ambientales; y de esta manera contribuir con el desarrollo sostenible del medio rural.

## Agradecimientos

A la Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá (ASOHECA) y de manera especial a su director ejecutivo Pablo Pineda, al director de proyectos Ing. Ismael Dussan, a los asistentes técnicos Héctor Llanos y Robert García. A los productores Héctor Llanos, Plinio Gaona en la finca El Pencil, Carlos Rojas en la finca Puerto Bolívar, Luis Aníbal Gómez en la finca El Reposo y a Saturnino Calderón en la finca La Cubana por donar los árboles para esta investigación.



## Literatura Citada

- Acosta, M; Etchevers, J; Hidalgo, C; Monreal, C; Quednow, K. 2001. Un método para la medición de carbono en los compartimientos subterráneos (raíces y suelo) de sistemas forestales y agrícolas en terrenos de ladera en México. pp. 1-19.
- Álvarez, G. 2008. Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 89 p.
- Andrade, H; Ibrahim, M. 2003. Como monitorear el secuestro de carbono en los sistemas silvopastoriles? Agroforestería en las Américas 10 (39-40): 109-116.
- Araujo, TM; Higuchi, N; Carvalho Jr., JA de. 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical forest site in the state of Pará, Brazil. Forest Ecology and Management 177: 43-52.
- Arreaga, W. 2002. Almacenamiento de carbono en bosques con manejo forestal en la Reserva de la Biosfera Maya, Petén, Guatemala. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, CR. 86 p.
- ASOHECA (Asociación de Reforestadores y Cultivadores de Caucho del Caquetá). 2009. ASOHECA. Información estadística de caucho en el Departamento del Caquetá-2009. Documento Técnico de agronegocios. 9 p.
- Ávila, G. 2000. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas de café bajo sombra, café a pleno sol, sistemas silvopastoriles y pasturas a pleno sol. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 68 p.
- Ávila, G; Beer, J; Gómez, M; Ibrahim, M; Jiménez, F. 2001. Almacenamiento, fijación de carbono y valoración de servicios ambientales en sistemas agroforestales en Costa Rica. Agroforestería en las Américas 8(30): 32-35.
- Brown, S. 1997. A primer for estimating biomass and biomass change of tropical forest. FAO Forestry paper 134. Rome. 38 p.
- Carlin, BP; Louis, T.A. 1996. Bayes and empirical Bayes methods for data analysis. Monographs on Statistics and Applied Probability, No. 69. Londres: Chapman and Hal. 416 p.
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, CW. 2010. InfoStat versión 2010. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Ferriols, R; Alos, M; Rius, F; Navarro, LV. 1995. Predicción de las concentraciones plasmáticas de tobramicina en pacientes sometidos a emodialisis. Farmacia Hospitalaria 19(5): 273-277.
- Gobernación del Caquetá. 2010. Información general por municipios (en línea). Florencia, Caquetá. Consultado 10 nov. 2010. Disponible en <http://caqueta.gov.co/nuestromunicipio.shtml?apc=m1t1--&x=1519541>.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1996. Chapter 5: Land Use Change & Forestry. Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Revised Version. London. Vol. 3, 57 p.
- Machado, SA; Conceição, MB; Figueiredo, DJ. 2002. Modelagem do volumen individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de Pinus oocarpa. Revista Ciências Exatas e Naturais 4(2): 185-197.
- McDicken, KG. 1997. A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Winrock International Institute for Agriculture Development, Arlington. 87 p.
- Monroy, C; Navar, J. 2004. Ecuaciones de aditividad para estimar componentes de biomasa de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg., en Veracruz, Mexico. Madera y Bosques 10(2): 29-43.
- Nelson, BW; Mezquita, Pereira, JLG; Souza, SAG de; Batista, GT; Couto, LB. 1999. Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon. Forest Ecology and Management 117: 149-167.
- Rügnitz, MT; Chacón, ML; Porro R. 2009. Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Primera edición. Lima, Perú. Centro Mundial Agroforestal (ICRAF) - Consorcio Iniciativa Amazónica (IA). 92 p.
- Rodrigo, V; Stirling, C; Naranpanawa, R; Herath, P. 2001. Intercropping of immature rubber in Sri

Lanka: present status and financial analysis of inter-crops planted at three densities of banana. *Agroforestry System* 51: 35-48.

Segura, M; Andrade, H. 2008. ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes?. *Agroforestería en las Américas* 46: 89-96.

Suárez, D; Segura, M; Kanninen, M. 2004. Estimación de la biomasa aérea total en árboles de sombra y plantas de café en sistemas agroforestales en Matagalpa, Nicaragua, usando modelos alométricos. *Agroforestería en las Américas* 11(41-42): 112-119.

Torres, A. 1999. Manual para el cultivo del Caucho en la Amazonia Colombiana, Plan Nacional De Desarrollo Alternativo (PLANTE). Universidad de la Amazonia, Colombia. 150 p.

Tsuruta, H; Ishizuka, S; Ueda, S; Murdiyarso, D. 2000. Seasonal and spatial variations of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and N<sub>2</sub>O fluxes from the surface soils in different forms of land-use/cover in Jambi, Sumatra. En: Murdiyarso, D; Tsuruta, H. (Eds.). *The impacts of Land-use/Cover Change on Greenhouse Gas Emissions in Tropical Asia*. IC-SEA, Bogor, Indonesia and NIAES, Tsukuba, Japan. pp. 7-30.

---

**Ervin Humprey Durán Bautista**

Ingeniero Agroecólogo, Universidad de la Amazonia. Miembro activo del GIADER (Grupo de Investigación en Agroecología y Desarrollo Rural).

**Autor para correspondencia**

**E-mail: [ervinduranb@gmail.com](mailto:ervinduranb@gmail.com)**

---

**Liliana Duque Castro**

Ingeniero Agroecólogo, Universidad de la Amazonia. Miembro activo del GIADER (Grupo de Investigación en Agroecología y Desarrollo Rural).

---

**Juan Carlos Suárez Salazar**

Ingeniero Agroecólogo, Universidad de la Amazonia (Colombia). M.Sc. Agroforestería Tropical, CATIE (Costa Rica). Docente-investigador Universidad de la Amazonia. Miembro activo del grupo de investigación GISAPA (Grupo de Investigación en de Sistemas Pecuarios Amazónicos Sostenibles).